

Nowy dział naszego pisma - „Notatnik Praktyka“, ma być regularnym cyklem artykułów dotyczących praktycznej strony konstruowania układów elektronicznych. Adresowany jest zasadniczo do wszystkich hobbistów elektroników, którzy chcą świadomie opracowywać swoje urządzenia. Ci, którzy wykorzystują gotowe schematy i płytki, znajdą tu uzasadnienie, dlaczego pewne układy zaprojektowano w taki, a nie inny sposób. Uczniowie i studenci zapoznają się z praktyczną stroną elektroniki, co trudno jest znaleźć w dostępnych podręcznikach. W kolejnych artykułach cyklu postaramy się przedstawić ogólne wskazówki dotyczące projektowania układów oraz ostrzeżemy przed typowymi błędami. Będziemy też omawiać podzespoły i typowe układy, uwzględniając materiały dostępne na rynku. W tym inauguracyjnym odcinku omówimy ogólne zalecenia i kolejność prac konstrukcyjnych. Zajmiemy się też projektowaniem ścieżek na płycie drukowanej.



## Od planu pracy do płytek drukowanych

Każdy elektronik bardzo się cieszy, gdy zakończy budowę urządzenia, zaprezentuje je rodzinie i kolegom, a potem długo z niego korzysta. Wszyscy znają wewnętrzne poczucie zadowolenia, gdy po długich wysiłkach układ wreszcie powstanie i bezawaryjnie działa. Niestety, szuflady i półki pełne są płytek i układów zaczętych, a niedokończonych.

Co zrobić, aby częściej udawało się doprowadzić pracę do końca?

Z obserwacji autora jasno wynika, że wiele kłopotów powoduje brak pewnych zdrowych przyzwyczajeń. Bardzo wielu elektroników ma mnóstwo fantastycznych pomysłów, jednak trudno im doprowadzić do końca ich realizację. Dlatego jednym z kluczy do sukcesu jest porządek i systematyczność. Ileż czasu można stracić, przypominając sobie, w jaki sposób zaprojektowaliśmy kiedyś układ, a nie mamy z tej pracy żadnych notatek czy rysunków.

Autor gorąco poleca prowadzenie systematycznych notatek. Dobrym rozwiązaniem jest założenie dwóch archiwów. Pierwsze byłoby zeszytem o dużym formacie (A4, najlepiej zszywany, a nie klejony, by po pewnym czasie nie rozleciał się na pojedyncze kartki), drugie - teczką na rysunki płytek drukowanych i większe schematy. Także posiadane katalogi i karty katalogowe podzespołów należy trzymać w jednym miejscu.

Do wspomnianego zeszytu należy wprowadzać efekty prowadzonych badań: schemat elektryczny, napotkane trudności, osiągnięte parametry, rodzaj zasilania, zdjęte charakterystyki, uwagi dotyczące podzespołów lub montażu. Wydawać by się mogło, że jest to strata czasu i szkolne podejście - weźmy jednak pod uwagę, że nie będzie dobrym elektronikiem ten, kto nie potrafi zrobić porządnej dokumentacji do opracowanego urządzenia. Zaś czas poświęcony prowadzeniu takiego zeszytu zwróci się wielokrotnie - łatwiej, korzystając z notatek, wrócić do zaawansowanego już opracowania, niż

od nowa je zaczynać. Z praktyki autora wynika, że po pewnym czasie tego rodzaju zeszyt stanowi znakomite źródło informacji.

Pokrewną sprawą jest utrzymywanie porządku w posiadanych podzespołach. Najlepiej jest podzielić swoje „skarby“ na grupy i umieścić w większych i mniejszych pudełkach z odpowiednimi napisami - wtedy wszystkie będą łatwo dostępne.

Autor, kierując się własnym doświadczeniem, zaleca także wykonanie ze sklejki lub płyty kilku palet o orientacyjnych wymiarach 40 x 60cm. Można umieścić je, niczym szuflady, w segmencie regału czy szafki kuchennej. Dwie mogą być przeznaczone do prac bieżących, na pozostałych zmieszczą się pudełka z podzespołami. Zaletą tego rozwiązania jest ochrona blatu stołu czy biurka przed uszkodzeniami, gdyż wszystkie prace prowadzi się na palecie. Druga korzyść to możliwość sprzątnięcia stanowiska pracy w ciągu kilkunastu sekund. Możliwość ta zapewnią także przychylność rodziny dla naszego hobby - a to też jest niezmiernie ważne!

Warto więc zainwestować trochę czasu, wprowadzając podane wskazówki, a z pewnością zaowocuje to w przyszłości.

### Kolejność prac

Zanim weźmiemy lutownicę do ręki warto poświęcić kilka chwil na wstępną analizę. Autor sugeruje zadanie sobie kilku istotnych pytań: Co chcę osiągnąć? Czy będzie to przydatne? Czy temat nie jest za trudny przy mojej wiedzy i posiadanych przyrządach? Czy można kupić coś takiego za przystępną cenę w wykonaniu fabrycznym?

Czasami potrzebne jest wylanie sobie na głowę niewielkiego wiadra zimnej wody, aby nie zająć się tematem z góry skazanym na niepowodzenie z braku umiejętności lub aparatury pomiarowej. Nie warto także konstruować sprzętu, który, opracowany w profesjonalnych laboratoriach, jest powszechnie dostępny na rynku. Do-

tyczy to szczególnie sprzętu powszechnego użytku, a często także aparatury pomiarowej. Lepiej kupić dopracowane urządzenie dobrej firmy niż poświęcić rok na konstrukcję jednego egzemplarza, który zazwyczaj nie dorówna parametrami i wyglądem wyrobom fabrycznym.

Nie znaczy to, że zniechęcamy tu do prac konstrukcyjnych. Nie wyważamy tylko otwartych drzwi - nie bierzmy się za skomplikowane urządzenia, nad którymi trudzą się całe sztaby konstruktorów.

Gdy już zdecydujemy się na realizację jakiegoś pomysłu, kolejnym krokiem powinno być określenie podstawowych parametrów. Jaka ma być np. dokładność, najwyższa częstotliwość pracy, moc ciągła, zakres temperatur, rodzaj i dopuszczalne wahania zasilania.

Po określeniu, jakie parametry ma spełniać urządzenie, przychodzi kolej na opracowanie układu elektronicznego. Trzeba przejrzeć literaturę, być może zamówić jakieś karty katalogowe. Zwykle po tego rodzaju analizie mamy kilka możliwości. Zazwyczaj najlepiej wybrać rozwiązanie jak najprostsze - byleby tylko spełniało założone parametry.

Dalszą, bardzo istotną sprawą, jest rodzaj obudowy. Czy zrobimy ją sami? Czy kupimy gotową? Jak розміścimy zaciski, potencjometry, diody świecące, wskaźniki, radiatory? Jest to bardzo istotny etap. Dopiero po wybraniu obudowy i zaplanowaniu rozmieszczenia elementów na płycie czołowej i tylnej możemy wstępnie określić wymiary, kształt i sposób mocowania płytek drukowanych. Z praktyki wynika, że właśnie taka kolejność: najpierw wybór obudowy i zagadnienia mechaniczne, a potem elektroniczne, daje większe szanse na dokończenie pracy. I raczej nie należy dążyć do maksymalnej miniaturyzacji - lepiej jest zastosować obudowę „o numer większą”, niż się na początku wyda.

Przychodzi teraz pora na narysowanie wstępnego schematu elektrycznego. Następnie należy wykonać montaż próbny układu i sprawdzić, czy nie ma żadnych błędów. Tu życie często płata figle. Układ, który „na papierze” działa bez problemu, po zmontowaniu nie działa wcale lub daleko odbiega od naszych oczekiwań. Prawie zawsze początkowy układ wymaga zmian i dlatego montaż próbny lepiej wykonać bez płytki. Autor od wielu lat stosuje w pierwszej fazie konstrukcji montaż „na sznurkach”, zwany także pajakiem. Tym sposobem można wy-

konać nawet duże układy. Jego zaletą jest duża elastyczność i łatwość wszelkich zmian. Trzeba jednak stosować zwarty, a nie rozwlekły montaż podzespołów. Autor używa kółka srebrzanki  $\phi 1$  (lub drutu miedzianego) na szyny zasilające. Konieczne jest podłączenie kondensatorów blokujących, np. elektrolityczny  $1000\mu\text{F}$  i ceramiczny bezindukcyjny  $100\text{nF}$  (rys. 1). Na takiej konstrukcji montuje się pozostałe elementy (układy scalone obowiązkowo w podstawkach). Do wykonania dłuższych połączeń między elementami używa się cienkiego drutu lub krosówki telefonicznej. Oczywiście, bardziej eleganckim, ale i pracochłonnym sposobem jest montaż na płytkach uniwersalnych.

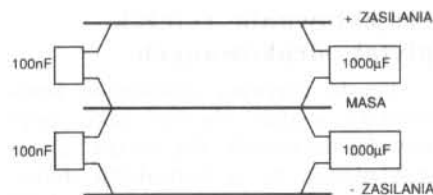
Gdy po wielu próbach i zmianach układ osiągnie ostateczny kształt, należy zrobić dokumentację. We wspomnianym już zeszycie należy narysować schemat elektryczny, wpisać wnioski z prac, zanotować osiągnięte parametry, nie zapominając o podaniu napięć zasilających, warunków pracy, użytej aparatury oraz daty.

Kolejnym krokiem po sporządzeniu dokumentacji, a w szczególności sche-

**BARDZO WIELU  
ELEKTRONIKÓW MA MNÓSTWO  
FANTASTYCZNYCH POMYSŁÓW,  
JEDNAK TRUDNO IM DOPROWA-  
DZIĆ DO KOŃCA ICH  
REALIZACJĘ.**

matu elektrycznego z numeracją i opisem podzespołów, jest zaprojektowanie płytki drukowanej. Posiadacze komputerów mogą w tym celu zastosować odpowiedni program, np. bardzo popularny AUTOTRAX, uzyskując w końcu wydruk mozaiki ścieżek. Inni muszą tę drogę przejść „na piechotę”. Do narysowania płytki przydatna będzie odbitka na kalce folii Astralon z siatką o module 1/10 cala lub papier milimetrowy, a w ostateczności zwykły papier w kratkę. Po kilku próbach ustawienia elementów i prowadzenia ścieżek otrzymujemy projekt płytki - zwykle jest to rysunek ścieżek widziany na skroś, od strony elementów.

Po wykonaniu projektu druku, trzeba przygotować kawałek laminatu o żądanych wymiarach, a następnie owinąć płytkę kartką z rysunkiem ścieżek w celu wywiercenia otworów. Należy zwrócić uwagę, czy wiercenie odbywa się z właściwej strony



Rys. 1.

(w zależności od tego, jak jest przygotowany rysunek).

Po wywierceniu otworów płytkę należy oczyścić. Najlepiej zrobić to drobnym kamieniem lub papierem ściernym (ostrożnie - folia ma grubość  $35\mu\text{m}$ ), aby nie było zadziorów po wierceniu. Następnie trzeba oczyścić i odtłuścić folię. Znakomicie nadaje się do tego celu drobny kuchenny proszek do szorowania (np. Ajax). Przed naniesieniem ścieżek należy dokładnie umyć ręce, aby nie było plam przy trawieniu. Jeśli projekt został zrobiony od strony elementów, trzeba przenieść linie ścieżek na drugą stronę kartki (np. patrząc pod światło na kawałku szyby czy pleksi). Można zwiększyć przejrzystość papieru przez pomalowanie go roztworem kalafonii w spirytusie lub, w ostateczności, olejem. Najlepiej jednak wykonywać projekt płytki na kalce technicznej.

Ścieżki i punkty można wykleić na laminacie używając gotowych arkuszy do odciskania. Można też użyć wodoodpornych flamastrów, specjalnie przeznaczonych do tego celu. Autor używa środków klasycznych: piórka do tuszu i barwnego tuszu Barock prod. b. NRD, zmywanego potem denaturatem. Można zastosować werniks (jest to lakier spirytusowy), który jednak zbyt szybko zastyga. Gorszym rozwiązaniem jest lakier do paznokci i lakier nitro. Jako narzędzia można użyć małej strzykawki ze ściętą krótko igłą lub samej igły lekarskiej.

Do trawienia przeznaczony jest chlorek żelazowy lub żelazawy, lepiej nie eksperymentować z „wynalazkami” typu kwasy lub elektrolity. Uważajmy jednak, aby nie pochłapać chlorkiem ubrania czy ręczników - plamy będą nie do usunięcia.

Zmytą po wytrawieniu w chloroku gotową płytkę należy jeszcze raz oczyścić proszkiem i pomalować roztworem kalafonii w spirytusie - będzie łatwiej lutować.

Trzeba jeszcze raz przypomnieć, że sposób przymocowania płytki do obudowy należy zaplanować na początku. Na płycie należy zostawić miejsce na wykonanie otworów mocujących, zwykle na śruby M3 (w urządzeniach stacjonarnych można wiercić  $\phi 2,4$  i nagwintować otwór w laminacie).

### Projektowanie ścieżek płytek drukowanych

Często jedynym problemem konstruktora wydaje się być takie poprowadzenie ścieżek, aby uniknąć zwarcia (zakładamy, że w warunkach domowych wykonuje się tylko płytki jednostronne). Takie podejście może być źródłem wielu kłopotów - układ w pająku działał, na płycie nie chce. W celu uniknięcia takich przypadków rozpatrzmy bliżej parametry związane ze ścieżkami.

W typowej płycie warstwa miedzi ma grubość 0,035µm - pod warunkiem, że przed trawieniem nie została zbyt energicznie wyczyszczona. Znając rezystywność miedzi  $\rho = 0,017\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  można obliczyć rezystancję ścieżki. Załóżmy, że ścieżka ma szerokość 0,5mm i długość 10cm.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad R = [\Omega], \quad l = [\text{m}], \quad S = [\text{mm}^2]$$

$$S = 0,035 \cdot 0,5 = 0,0175\text{mm}^2$$

Zauważmy, że przekrój 0,0175mm<sup>2</sup> odpowiada drucikowi o średnicy 0,15mm - jest to więc bardzo niewiele.

Obliczmy rezystancję takiej ścieżki

$$R = \frac{0,017\Omega\text{mm}^2/\text{m} \cdot 0,1\text{m}}{0,0175} \approx 0,1\Omega$$

Daje to wartość zadziwiająco dużą! Nawet ścieżki szerokie, np. 3mm, mają przekrój ok. 0,1mm<sup>2</sup> i, przy długości np. 5cm, rezystancję ok. 0,0085Ω. Jeśli jest to ścieżka masy i przepływa przez nią duży prąd zawierający składową zmienną wartości np. 0,1A, to na tym odcinku wystąpi spadek napięcia 0,85mV. Jest to wartość istotna.

Gdy taka sytuacja wystąpi w układzie wzmacniacza, to może się okazać, że nieporządany spadek napięcia doda się (lub odejmie) do sygnału użytecznego, co może doprowadzić do samowzbudzenia. W innych układach spadki napięć na ścieżkach mogą być przyczyną trudnych do znalezienia błędów. O ile w ścieżkach sygnałowych spadek napięcia nie ma znaczenia, to przy projektowaniu ścieżek przewodzących duże prądy należy zwrócić na to uwagę.

Cynowanie ścieżek niewiele poprawia sytuację, gdyż, jak widać z porównania rezystywności metali, stop lutowniczy ma kilkakrotnie gorsze parametry od miedzi:

Srebro (Ag)	0,016	Ωmm <sup>2</sup> /m
Miedź (Cu)	0,017	Ωmm <sup>2</sup> /m
Aluminium (Al)	0,027	Ωmm <sup>2</sup> /m
Cyna (Sn)	0,115	Ωmm <sup>2</sup> /m
Ołów (Pb)	0,21	Ωmm <sup>2</sup> /m.

Bezpieczniej jest więc projektować szerokie ścieżki wszędzie tam, gdzie

plłyną znaczne prądy.

Omówiony został jeden aspekt zagadnienia - sytuacja, w której przyczyną kłopotów mogą być spadki napięć na ścieżkach. Istnieją jednak układy, w których wzbudzenie nie wystąpi, np. obwody wykonawcze przekaźników, tranzystorów mocy itp. W takim przypadku istotnym parametrem staje się dopuszczalna obciążalność ścieżek. W niektórych sytuacjach (np. transformatory) przyjmuje się maksymalną gęstość prądu ok. 2,5A/mm<sup>2</sup>. Przy wspomianej ścieżce o szerokości 3mm i przekroju 0,1mm<sup>2</sup> gęstość wynosiłaby tylko 0,25A! Ale tu sytuacja jest inna. Ścieżka jest płaska, ma dobre chłodzenie i można ją obciążyć dużo większym prądem. Oczywiście, istniejąca rezystancja spowoduje wydzielanie się ciepła i trzeba liczyć się ze wzrostem temperatury ścieżek i płytki. W skrajnym przypadku temperatura tak wzrośnie, że ścieżka ulegnie uszkodzeniu. Faktyczne obciążenie powinno więc być znacznie mniejsze od wartości prądu niszczącego.

W tabeli 1 podano, dla różnych szerokości ścieżek, wartości prądu powodujące wzrost temperatury o 20°C, 80°C oraz wartość typowego prądu niszczącego. Jak widać z tabeli,

Tab. 1.

Szerokość ścieżki	Przyrost temperatury 20°C	Przyrost temperatury 80°C	Prąd niszczący (typ.)
0,5mm	1,5A	3,5A	6A
1mm	2,5A	5A	8A
2mm	3,5A	7A	12A
3mm	5A	10A	18A

również w tym przypadku warto projektować ścieżki możliwie szerokie.

Następną sprawą jest wytrzymałość napięciowa, czyli dopuszczalna różnica napięć między sąsiednimi ścieżkami. Bez obaw można przyjąć, że milimetr przerwy wytrzyma 1kV. Ale uwaga! Przepisy bezpieczeństwa wymagają, z zupełnie innych względów, aby obwody sieci 220V były dobrze oddzielone od innych części układu. Zatem odkryte ścieżki i przewody sieciowe powinny być oddalone od pozostałych o więcej niż 6mm.

Warto także pamiętać o oporności między ścieżkami. Teoretycznie jest ona zawsze liczona w setkach gigaohmów. Jednak wszechobecny kurz i zapylenie potrafią znacząco obniżyć tę wartość. Szczególnie w układach, w których występują punkty o dużej impedancji (np. wejścia wzmacniaczy operacyjnych typu FET), przy

zwiększonej wilgotności powietrza, mogą pojawić się błędy wynikające z prądów upływu. Dlatego układy, które mają długo i niezawodnie pracować, należy zabezpieczyć lakierem izolacyjnym lub choćby roztworem kafalonii w spirytusie.

Dalszym problemem jest występowanie nieodłącznej indukcyjności ścieżek. Ma to znaczenie przede wszystkim w układach w.c.z.. Jest bardzo istotne przy stosowaniu szybkich układów cyfrowych (np. TTL lub ECL). Jednak często zapomina się o tym w pozostałych sytuacjach.

Wiadomo, że napięcie powstałe na indukcyjności jest proporcjonalne do wartości tej indukcyjności i szybkości zmian płynącego przez nią prądu. Gdy szyna zasilająca ma pewną indukcyjność, to napięcie na jej końcu podczas gwałtownych zmian prądu (np. przełączanie układów cyfrowych) może na ułamki sekund znacznie spadać lub wzrastać, powodując błędne funkcjonowanie układu cyfrowego. Zatem wszędzie tam, gdzie są oczekiwane szybkie zmiany prądu, należy stosować blokowanie zasilania kondensatorami bezindukcyjnymi.

Pamiętać należy, że w rzeczywistych układach elektronicznych przewo-

dy doprowadzające napięcie zasilania mają pewną impedancję. Trzeba dodać, że kondensatory elektrolityczne zachodują swoją pojemność co najwyżej do częstotliwości 10kHz.. Dlatego też dla w.c.z. w celu odsprężenia zakłóceń należy stosować kondensatory bezindukcyjne (o pojemności rzędu 100nF). Nie zapominajmy więc o blokowaniu zasilania (w samym układzie lub jak najbliżej niego) dla całego zakresu częstotliwości.

Dotyczy to także układów pracujących przy małych częstotliwościach, ponieważ stosowane elementy: wzmacniacze operacyjne, tranzystory, układy cyfrowe są bardzo szybkie i zbyt duża impedancja źródła zasilania, dla jakiegokolwiek częstotliwości, może spowodować ich wadliwe działanie.

**Piotr Górecki, AVT**